

天地空立体化森林精准自动计测技术研究

董 斌^{1,2} 冯仲科² 姚 山² 闫秀婧^{2,3} 隋宏大² 王 佳² 过家春¹

(1 安徽农业大学理学院 2 北京林业大学测绘与3S技术中心

3 甘肃林业职业技术学院)

摘要:天地空立体化森林精准自动计测技术是研究现代电子森林计测仪器和林用工具技术的方法体系。利用高空宏观的卫星遥感、中观无人机航空摄影、地面三维激光扫描、电子角规和视频超站仪等现代高新技术解决不同尺度、不同精度要求的森林资源和林火工程多级、多方式监测问题,实现森林资源计测和林火监测的自动化、精准化、数字化,提高森林作业的自动化水平、林业现代化水平、工作效率及经济效率,进而建立现代林业技术系统,为保障森林健康与安全,促进森林可持续经营和林业可持续发展提供基础信息。

关键词:天地空;立体化森林;精准计测

中图分类号:S771 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2008)增刊1-0173-05

DONG Bin^{1,2}; FENG Zhong-ke²; YAO Shan²; YAN Xiu-jing^{2,3}; SUI Hong-da²; WANG Jia²; GUO Jia-chun¹.

Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying. *Journal of Beijing Forestry University*(2008)30(Supp.1)173-177[Ch, 14 ref.]

1 School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei, 230036, P. R. China;

2 Institute of GIS, RS & GPS, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

3 Gansu Forestry Technological College, Tianshui, 741020, P. R. China.

Precision auto-measurement technology in surveying aerial-ground-space stereo forest pays attention to the research of modern electronic measuring instrument and technique system of forestry tools. It can solve monitoring problems concerning forest resources of different scales and precisions and forest fire engineering of different levels by modern high technologies such as macro-remote sensing, medium-level view unmanned aerial photography, terrestrial laser scanning technology, electronic angle gauge, video super total station, etc. It can realize automatization and digitalization and improve precision in forest measurement and forest fire monitoring. It can also raise automatization level of modern forest, improve forestry work efficiency and economic efficiency. Furthermore, it can establish modern forestry technique system and provide basic information to ensure forest health and safety as well as sustainable forest management.

Key words aerial-ground-space; stereo forest; precision measurement

森林资源具有功能上的多样性、生长周期的长期性、状态的动态性、森林成熟的不确定性、分布的广域性及空间的结构性^[1-2]。目测法、角规法、手工法为主的森林抽样调查体系在过去、现在和将来的森林资源调查中都有着重要的地位和作用。作为一定精度条件下的检测,这些方法都是行之有效的^[3-4]。但在森林资源日益减少的今天,对单木和林

分实现精准无损伤测量显得尤其重要。森林计测技术应该走一条跨越式发展技术道路,即不经过光学测微时代,直接由机械游标量测工具进入到现代电子光栅与计算机技术、信息技术、空间技术、影像技术、图形技术集成和结合的时代^[5]。天地空立体化森林精准自动计测技术属于森林计测学、测绘科学与技术、信息科学与系统科学等多学科综合集成性

收稿日期:2007-11-10

<http://www.bjfujournal.cn>, <http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:北京市自然科学基金重点项目(4041002)、安徽农业大学校长青年基金(20030901)。

第一作者:董斌,博士生,副教授。主要研究方向:3S技术及其应用。电话:0551-5786299 Email:dbhy123@sina.com 地址:230036 安徽农业大学理学院。

责任作者:冯仲科,教授,博士生导师。主要研究方向:林业3S技术应用、精准林业。电话:010-62337963 Email:fengzhongke@126.com 地址:100083 北京林业大学111信箱。

高新技术。

1 技术体系

天地空立体化森林精准自动计测技术是以精准林业、数字林业思想和测绘科学为理论基础,以森林

资源为研究对象,以森林资源计测的关键技术、方法和现场作业体系为主要研究内容,建立的一个天地空立体化森林精准自动计测技术方法体系^[6-8]。其流程见图 1。

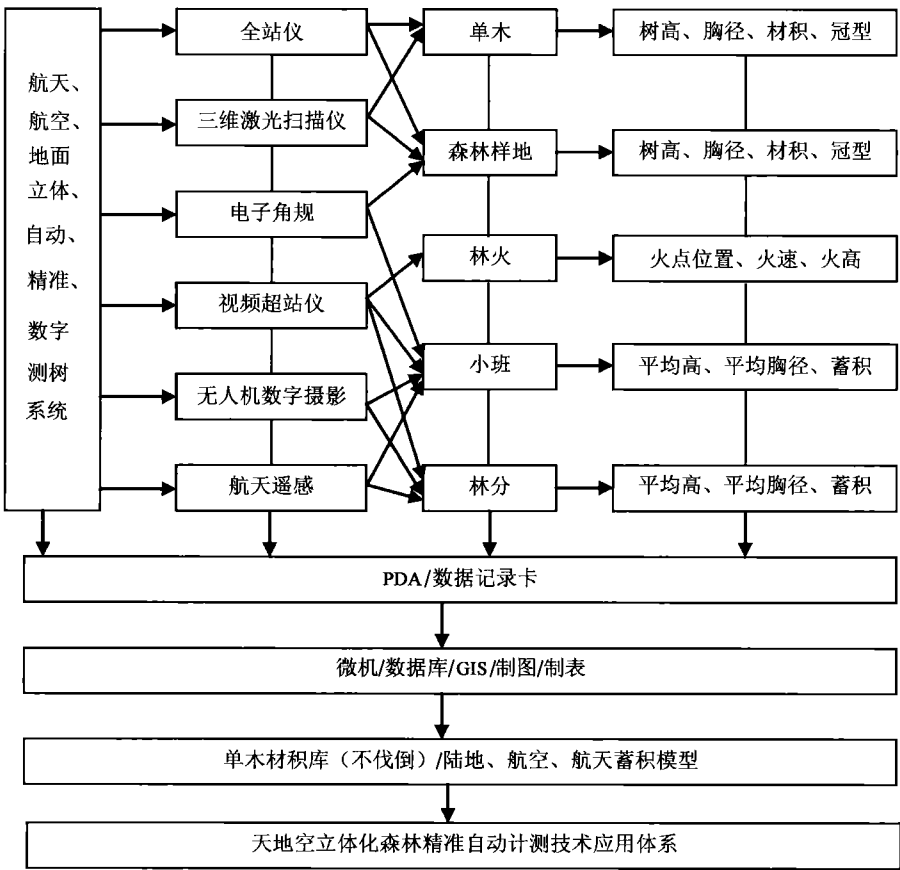


图 1 天地空立体化森林计测技术流程图

FIGURE 1 Technical flowchart in surveying aerial-ground-space stereo forest

2 地面精准自动测树关键技术

2.1 电子角规自动测树方法

1) 电子角规测树仪
由望远型角规与 CCD 面阵数码相机结合而成, CCD 把全视场内影像的光信号转换为电子信号(A/D),并通过数据传输电缆输入数据库,实现信息采集、传输与记录自动化^[9-10]。
2) 电子角规测树仪的自动测树方法
分别瞄准各计数立木树冠下的相关干径,逐株摄影,经自动观测系统处理后,即可自动获得外业数据。采用电子角规绕测时,需二人合作。一人持仪器置于角规点上,一人持水平标尺置于待测立木的胸径处。观测系统将贮存的结果传入自动计算系统,即可显示林分每公顷的立木株数、平均树高、平均干形、断面积、蓄积等因子。实测表明,同一角规点多次测算结果差异仅为 0.4,而普通角规可能达到 2.0。

2.2 视频超站仪及其计测方法

2.2.1 视频超站仪

集 CCD 面阵数码相机、GPS 和电子全站仪于一体,相机安装在望远镜上侧与望远镜固定在一起,相机主光轴方向与望远镜平行,像平面过全站仪横轴, GPS 天线以可拆装的方式置于全站仪的提把上,与全站仪同轴,就构成视频超站仪系统^[11-12]。

2.2.2 视频超站仪计测方法

以 PDA 为工具, GPS 进行数据采集,全站仪测量坐标,数码相机拍摄图像;以 WinCE 为平台,进行数据的记录、存储、交换、解算。待测区的图像通过数据传输线进入 PDA 之后, GPS 获取测站点的三维坐标,与全站仪获取的前方待拍区域各控制点相应参数一起,在 PDA 中解算各控制点的三维坐标,为数码相机拍摄的数字图像提供相应的内方位元素和外方位元素。

2.2.3 全站仪精准自动测树技术

将全站仪与 PDA 连接起来,通过 WinCE 测量树

高、树干材积、任一处上部直径、树心坐标、冠幅等测树特征参数。

1)树高测量

树高测量时,选择能看到树顶及树底部的地面架设全站仪,在仪器一侧与仪器大致同高处放置激光发射片或棱镜,棱镜高 h ,用视频超站仪测量斜距 D ,从而计算水平距离 S ,测量树底的天顶距 V_1 及树顶的天顶距 V_2 (图 2)。

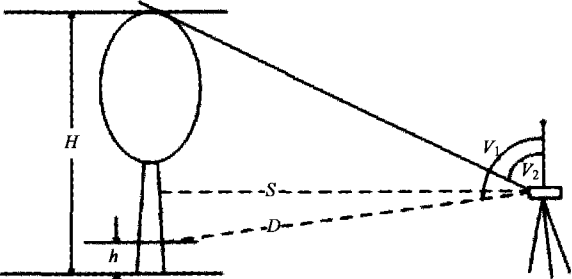


图 2 全站仪测量树高示意图
FIGURE 2 Scheme of surveying tree height by a total station

由公式: $H = h + D \sin V_1 [\tan(90 - V_2) - \tan(90 - V_1)]$ 计算树高。

2)胸径及任意处直径测量

可由全站仪观测视线与胸径或任意处树干两侧切线角的一半, S 为仪器到树干中心的距离 α (图 3),则胸径及任意处直径为: $D = 2S \sin(\alpha/2)$ 。

3)冠幅测量

测树时要求测量样木的东、南、西、北 4 个方向的冠幅,只需在树干处和东、南、西、北 4 个方向树冠投影处放置棱镜,即可自动测量(图 4)。

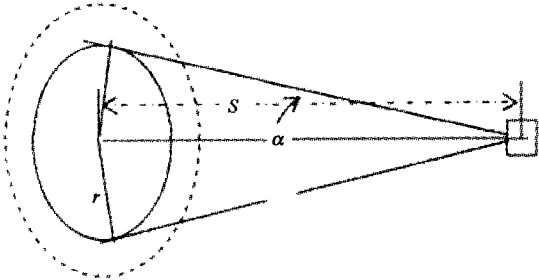


图 3 胸径测量
FIGURE 3 Scheme of DBH measurement

4)树干材积测定

据全站仪量测的任意高度处直径,采用区分求积的原理计算树干材积^[8,13-14]:

①将样木自根径到胸径部位作为第一段,材积按圆台体积公式计算;

②胸径以上每 2 m 或 1 m 为一段进行分段,材积按圆台体积公式计算,按多少长度进行分段视具体情况而定;

③不足 2 m 或 1 m 长的梢头作为一段,材积按圆锥体体积公式计算。

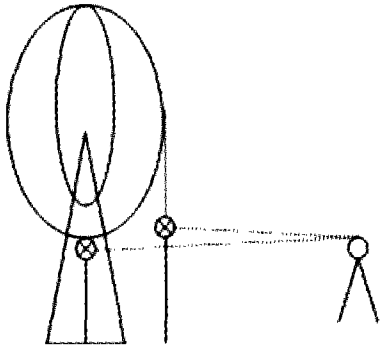


图 4 冠幅测量
FIGURE 4 Scheme of crown measurement

区分段材积计算公式:

$$V_{\text{区分段}} = h\pi(D_{\text{上}}^2 + D_{\text{上}}D_{\text{下}} + D_{\text{下}}^2)/12 \quad (1)$$

式中, $D_{\text{上}}$ 为上断面直径, $D_{\text{下}}$ 为下断面直径, h 为区分段长度。

梢头材积计算公式:

$$V_{\text{梢头}} = h_{\text{梢}} \pi D_{\text{梢}}^2 / 12$$
$$= \pi D_n^2 [H - 1.3 - h(n - 2)] / 12 \quad (2)$$

树干材积的计算公式为:

$$V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$$
$$= 1.3\pi(D_1^2 + D_1D_2 + D_2^2)/12$$
$$+ h \sum_{i=2}^{n-1} \pi(D_{i-1}^2 + D_{i-1}D_i + D_i^2)/12 + V_{\text{梢头}} \quad (3)$$

实验表明,全站仪测树精度显著提高,能够实现三维、动态制图和空间分析。

2.2.4 近影摄影测量测树技术

数字近影摄影测量是设置二站以获取立体像对,对于面阵数码相机而言,像片中心是中心像素,像主点偏移量 X_0, Y_0 及镜头焦距 f 需通过检测获得;外方位元素 3 个转角为 $\alpha + \alpha_0, \omega_0, \kappa + \kappa_0$,其中: $\alpha_0, \omega_0, \kappa_0$ 是由超站仪检测时获取的常数, α, κ 由全站仪的水平角读数及垂直角计算求得;摄站间的基线长度及摄站高差由全站仪配全棱镜测量获取;数字像对经半自动立体匹配后进行所需点位的三维坐标依据解析空间前方交会原理进行求解;样本树的高度各直径可在立体模型中直接量取。通过实验,建立林分蓄积方程:

$$V = -148.7 + 0.8H + 6.1N + 0.4 \overline{CD} + 0.5 \overline{CC} \quad (4)$$

式中, H 为平均树高, N 为株数, \overline{CD} 为冠径, \overline{CC} 为郁闭度。

经验证,实测与推估小班蓄积误差为 5% ~ 15%,可用于二类调查。

2.3 三维激光扫描系统编制立木材积表方法

根据标准地立木的位置、大小形态和需要获取的测树因子,设计各扫描站和控制标靶的位置。在

测站上架设激光扫描仪,调整参数和姿态,利用数码相机拍摄立木,进行扫描,获取立木的三维空间点阵数据,同时获取控制标靶中心,得到一幅点云图;通过坐标匹配,将立木的不同点云图“拼合”在同一坐标系下,经过数据预处理、抽取等功能的实现,最终建立起立木的三维模型;利用三维激光扫描仪自带的软件处理提取树高、胸径、材积和冠幅等测树因子;对扫描获取的胸径、树高和材积数据分别采用不同的材积方程进行拟和,选择剩余标准差最小、相关指数最大,并考虑最接近图解法的散点分布趋势的方程作为编表的材积式,建立起二元材积方程式,编制材积表。

一般选择斯波尔于1952年提出的二元材积方程式,编制材积表。以1 m的树高级、2 cm的直径级,将公式展开,即得立木二元材积表。

$$\bar{V} = a(D^2 H)^b \quad (5)$$

式中, \bar{V} 为立木材积(m^3), D 为胸径(cm), H 为树高(m), a 、 b 为无量纲的参数。

通过甘肃省东南部小陇山林业局党川林场实测,得单株材积回归模型为:

$$\bar{V} = 7.1558 \times 10^{-5} (D^2 H)^{0.931} \quad (6)$$

该方程剩余标准差为0.505,相关系数为0.991, F 值为749.588,模拟精度很高。

2.4 电子经纬仪配合PDA野外自动测树技术

电子经纬仪与PDA结合,可以发挥电子经纬仪精密测角功能、PDA数据处理和存贮功能。同时,PDA还具有便于携带的特点,与电子经纬仪结合可以实现野外数据的实时采集和处理。实测时可对每个树种单独测量,左右角分别是电子角规观测树木胸径处左右侧面时的水平角,其差值即为夹角 α 。当PDA与电子经纬仪连接通讯后,按获取键自动获取水平角数据,测完一棵树后点击计算就可判断 Z 值。当某棵树由于遮挡不能确定是否计数时,可以对其进行检验,输入胸径和到角规点的距离即可判断。将仪器高置为1.2 m测树木胸高处时,电子经纬仪的视线与林地地面平行,利用电子经纬仪测量倾角的功能可以得到每棵树的坡度 θ_i ,从而可以对每棵树木进行坡度改正,得到修正后的计数值 Z_i' :

$$Z_i' = Z_i \sec \theta_i$$

研究表明,当取角规断面系数为1时,经典角规测树的误差为1/32,电子角规测树误差1/7 000。电子角规精度较经典角规测树精度提高200倍以上。

3 航空摄影测量和遥感计测技术

无人机航空摄影遥感采用无人低空飞行器作为

遥感平台,集数码相机、差分GPS和陀螺平台于一体,利用数字摄影技术获取高地面分辨率、大比例尺的遥感影像;通过数字影像处理系统,根据地物构象规律和影像特点,将林分调查因子的数量和质量在影像上识别和量测出来,并以影像上判读的郁闭度、树高、树冠直径和株数等因子为地面上实测材积的函数,编制航空立木材积表和航空林分材积表。

根据影像上判读的因子为地面上实测材积的函数编制材积表:①根据地面实测胸径与树冠直径、判读的树高建立回归关系,编制一元航空立木材积表;②由于树高和树冠因子与材积有密切的关系,因此利用影像上判读的树高、树冠直径和地面实测材积建立回归关系,编制二元航空立木材积表;③根据一个与实测材积有密切关系的林分判读因子与实测材积建立回归方程,编制一元航空林分材积表;④根据现地观测和室内判读的两个与实测材积有密切关系的林分判读因子建立一个二元一次线性回归方程,编制二元航空林分材积表。

4 结 语

运用现代高新技术实现森林资源自动化、精准化、数字化计测,建立天地空立体化森林精准自动计测技术方法体系,突出地面精准自动测树、航天航空森林精准自动计测技术体系。通过对关键技术重组、整合、升级、提高、创新和信息集成,实现森林多精度、多分辨率、天地空立体化的精准计测,为森林资源管理提供有力的技术支持。

参 考 文 献

- [1] 冯仲科,余新晓. 3S技术及其应用[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
FENG Z K, YU X X. *System of 3S and application* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000.
- [2] 冯仲科,聂玉藻. 精准林业[M]. 北京:中国林业出版社,2002.
FENG Z K, NIE Y Z. *Precision forestry* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [3] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京:科学出版社,2006:249-266.
ZHOU Q M, LIU X J. *Digital terrain analysis* [M]. Beijing: Science Press, 2006:249-266.
- [4] 冯仲科. 测量学原理[M]. 北京:中国林业出版社,2002.
FENG Z K. *Surveying Principle* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [5] 董斌. 基于全站仪的林业数据自动测算系统[J]. 南京林业大学学报,2005,29(5):119-122.
DONG B. A study on automatic surveying and calculating system of forestry data based on total station[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2005, 29(5): 119-122.
- [6] 冯仲科,韩熙春,周科亮,等. 全站仪固定样地测树原理及精度分析[J]. 北京测绘,2003(1):28-30.

FENG Z K, HAN X C, ZHOU K L, *et al.* The analysis of forestry measurement principle and precision in fixed samples by total station [J]. *Beijing Surveying*, 2003(1):28-30.

[7] 冯仲科, 景海涛, 周科亮, 等. 全站仪测算材积的原理及精度分析[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(3):60-63.

FENG Z K, JING H T, ZHOU K L, *et al.* Principle and precision evaluation of stem volume surveying by total station[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(3):60-63.

[8] 孟宪宇. 测树学[M]. 第2版. 北京: 中国林业出版社, 1995.

MENG X Y. *Forest measurement* [M]. 2nd ed. Beiing: China Forest Publishing House, 1995.

[9] XIE H Q, JING H T, CAO Y J, *et al.* 4D and application of land reclamation in mining area [C]//Proceedings of Ⅲ International Congress of International Society for Mine Surveying. Beijing: Science Press, 2005:196-199.

[10] FENG Z K, JING H T, ZHANG X P, *et al.* Surveying under forest cover, water lever, ground and above special constructions [C]// Proceedings of Ⅲ International Congress of International Society for Mine Surveying. Beijing: Science Press, 2005:629-632.

[11] JING H T, XIE H Q, FU M C, *et al.* Quantitative analysis on soil erosion based on 3S technology [C]//Proceedings of Ⅲ International Congress of International Society for Mine Surveying. Beijing: Science Press, 2005:829-832.

[12] FENG Z K, REN Y Q. Study of forest environment effects on RTD GPS position accuracy[C]//The Proceedings of the China Association for Science and Technology. Beijing: Science Press, 2004:103-107.

[13] REN Y Q, FFENG Z K. Principle and practice of electronic angle gauge [C]//The Proceedings of the China Association for Science and Technology. Beijing: Science Press, 2004:108-110.

[14] FENG Z K, FU X, LIU Y X. Study on the stability of hand-held GPS receiver [C]//The Proceedings of the China Association for Science and Technology. Beijing: Science Press, 2004:118-121.

(责任编辑 李 慧)